

**DEVELOPMENT OF NEW DATA ACQUISITION SYSTEM FOR MONITORING
AND SUPERVISION OF THE TRANSPORT LINE BY CABLE AIR “LINE L” OF
METRO DE MEDELLÍN****DESARROLLO DE UN NUEVO SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA
EL MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSPORTE POR
CABLE AÉREO “LÍNEA L” DEL METRO DE MEDELLÍN**

PhD. (c) Mario Arrieta Paternina, PhD. (c) Rafael Mira Pérez
Tec. César Avendaño Tapasco, Tec. Joel Quinchia Osorio

Institución Universitaria Pascual Bravo.

Grupo de investigación e innovación en Energía – GiiEN.

Calle 73 No. 73A - 226. Medellín, Antioquia, Colombia.

Tel.: +(57) (4) 448 0520, Fax: +(57) (4) 493 6363, Ext. 1081.

E-mail: mario.arrieta@pascualbravo.edu.co, rafael.mira@pascualbravo.edu.co,
avendano.tapasco@gmail.com, jquinchi@gmail.com

Abstract: In this paper a new development is performed. The development consists in a data acquisition system for air cable of line L of Metro de Medellín, through the development of a software application and design and implementation of an acquisition card necessary in order to performer of system. The system is responsible for acquiring, recording and presenting data graphically on the following variables: motor current, line speed, motor voltage and wind speed in towers of support. The above mentioned, it is made with the objective to analyze these signals and generate real data that them allow to optimize the maintenance times and improve the control systems and its operation.

Keywords: Data Acquisition System, motor current, wind speed, motor voltage.

Resumen: Este artículo presenta un nuevo desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el cable aéreo de la línea L del Metro de Medellín, mediante el desarrollo de una aplicación de software y el diseño e implementación de una tarjeta de adquisición necesaria para el desarrollo del sistema. El sistema se encarga de adquirir, registrar y presentar gráficamente los datos de las siguientes variables: corriente del motor, velocidad de línea, voltaje del motor y velocidad del viento en las torres de sostenimiento del cable aéreo. Lo anterior, con el fin de analizar posteriormente todas estas señales y generar datos reales, los cuales permite optimizar tiempos de mantenimiento y/o mejoras del sistema de control y operación.

Palabras clave: Sistema de adquisición de datos, corriente del motor, velocidad del viento, voltaje del motor.

1. INTRODUCCIÓN

El Metrocable es un sistema de cable aéreo para transporte masivo de pasajeros, ideado y localizado en la ciudad de Medellín, Colombia. Ideado en su

totalidad en Medellín, el Metrocable era el único en el mundo, hasta 2010 (con la inauguración en enero del Metrocable de Caracas); por su carácter de medio de transporte público permanente o de frecuencia continua, lo cual lo diferencia de los

sistemas de cable hasta ahora instalados en el planeta, que se dedican a transportes para fines específicos y con frecuencias no continuas, como los implementados en zonas o parajes deportivos como montañas o colinas de esquí, o los cables aéreos utilizados en las represas hidroeléctricas para mantenimiento y turismo.

El sistema Metrocable es complementario al Metro de la ciudad de Medellín y atiende las necesidades de transporte de algunos de los sectores menos favorecidos de la ciudad, como son las comunas nor-oriental y centro-occidental. Es la primera línea turística del Metro y la tercera por cable aéreo del sistema.

El sistema de Metrocable ha servido para integrar algunas comunas o áreas de difícil acceso con el Sistema de Transporte Masivo de Gran Capacidad. Ha sido un experimento de gran éxito, pues ha vuelto a ligar a la vida ciudadana grandes sectores de las clases populares; ya que nació con el propósito de mejorar las condiciones de movilidad de los habitantes de la ciudad, por medio de nuevas líneas que mantienen los estándares de calidad del Metro de Medellín a lo largo de corredores aéreos que amplían el área de influencia del sistema, garantizando la integración y rapidez al utilizar los diversos modos de transporte. Es necesario e indispensable para el Metro de Medellín, la realización del diseño e implementación de un dispositivo de adquisición de datos que permita obtener y monitorear en tiempo real, variables tales como el tiempo, la corriente, el voltaje, velocidad y espacio. Con el fin de conocer el comportamiento del sistema para posteriormente ejercer acciones de control, garantizando siempre un análisis oportuno de las señales arrojadas sobre él, para así hacer más eficiente su operación y evitar retrasos y la posible afectación de personas, de equipos y de infraestructura. Lo anterior, constituye el propósito fundamental del presente trabajo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DESDE EL DISEÑO INICIAL

En la actualidad, la Línea L ó Cable Arví, del Metro, es un corredor de cable aéreo que conecta la estación Santo Domingo K del Metrocable de la Línea K con el Parque Ecoturístico Arví. Esta Línea al igual que las otras dos líneas de cable, también posee un sistema de tracción impulsado por motores de corriente continua, en los cuales el sistema de registro y adquisición de datos dificulta en gran parte el análisis de las variables

operacionales, tales como la velocidad de operación, la corriente y el voltaje del motor de tracción principal ya que a pesar de que cuenta con una interfaz de visualización, los datos en tiempo pasado no es posible visualizarlos. De igual forma, se cuenta con un sistema de visualización de la velocidad del viento en la estación y en las torres de sostenimiento del sistema, conocidas como pilonas, en el cual el sistema de registro de esta variable es también limitado a la visualización, dato importante que influye en el análisis de las condiciones atmosféricas que han influido en la operación del sistema.



Fig. 1: Cable Arví del Metro de Medellín, línea L.

Por otro lado, es de anotar que los sistemas de adquisición de datos que existen en el mercado tienen grandes limitantes, principalmente el costo y que sus tareas son definidas por el fabricante del mismo, lo que inflexibiliza su operación y lo hace menos versátil. También se limitan a determinadas necesidades requeridas por el cliente en el desarrollo de aplicaciones (Vicente y Olguín, 2009).

3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Inicialmente para realizar el diseño del sistema de monitoreo de forma experimental, se mide el grado de relación entre velocidades, voltajes, corrientes y demás variables que generan los dispositivos de control y visualización ubicados en la estación de mando, en la estación Santo Domingo L del Metro de Medellín, determinando así los principales puntos de medición y las actividades de monitoreo a realizar.

Dado que se requiere de un sistema de adquisición de datos y monitoreo en tiempo real de las múltiples variables de control, para registro y no solo visualización como se tiene en estos

momentos, en el sistema de transporte por cable aéreo, se debe de contar con un dispositivo que esté realizando la medición de las variables de manera frecuente y que posteriormente transmita la información obtenida a un PC, para así realizar el procedimiento de monitoreo y registro para su posterior análisis (Mera *et al.*, 2011).

Para proceder con el diseño del dispositivo de adquisición y transmisión de datos es necesario saber las condiciones en las que se recibirán las variables a medir, con el propósito de determinar si es necesario o no, diseñar circuitos que permitan acoplar las distintas señales que originan los diferentes dispositivos. Las variables que serán procesadas son: velocidad del viento, voltaje del motor, velocidad de operación del cable (velocidad de la línea) y corriente en el motor. Las señales correspondientes a cada variable se obtienen de los gabinetes de control y de potencia, en los que es posible tomar medidas instantáneas de dichas variables. En la tabla 1, se presenta el escalado de las señales a monitorear y registrar, teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos y la transducción correspondiente entre ellas y la referencia en voltaje.

Tabla 1: Especificación de las señales de entrada.

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Transducción de señal
Velocidad del viento	50 m/s	0 m/s	0.1 [V] / 1 [m/s]
Voltaje del motor	80 V	0 V	1 [V] / 1 [V]
Velocidad de línea	6.4 m/s	0 m/s	Calculada a partir del voltaje del motor
Corriente del motor	50000 A	0 A	0.1 [V] / 1000 [A]

Para el diseño de la tarjeta de adquisición de datos se definió que sea controlada por un microcontrolador, (González, 1992; Valdés y Pallas, 2007), ya que permite tanto leer variables analógicas como gestionar la transmisión vía serial (RS-232) al PC. Dado que dicho microcontrolador trabaja con valores lógicos TTL (0 VDC a 5 VDC), no sería posible conectar a la tarjeta de adquisición de manera directa las señales que provienen del tacómetro del motor, debido a que su voltaje es del orden de los 80 VDC; por consiguiente se utiliza un divisor de tensión para generar una caída de voltaje proporcional a la relación del voltaje de salida del tacómetro del motor y que se adecúe al rango de voltaje utilizado por el microcontrolador. Las demás señales pueden ser interpretadas fácilmente por el microcontrolador, toda vez que las señales están en su rango de trabajo.

Una vez definidas las variables de entrada como de salida del sistema, se procede con la selección del microcontrolador con las características requeridas. Éste debe tener un módulo ADC (*Analog to Digital Converter*), con cuatro canales como mínimo y un módulo de transmisión UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) para el envío de los datos al PC.

Se seleccionó un microcontrolador PIC debido a su bajo costo. El PIC16F873A se encuentra entre las referencias más comunes y cumple con los requerimientos, dicho dispositivo cuenta con cinco canales de entradas en un módulo ADC de 10 bits, un módulo de transmisión USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*), múltiples temporizadores, entre otras funcionalidades. Este módulo USART se caracteriza por permitir la recepción y transmisión en tiempo real de los datos obtenidos a la salida de los dispositivos de monitoreo.

Al ingresar las señales al módulo ADC del microcontrolador de manera directa, se afectan tanto las medidas instantáneas en los gabinetes, como imprecisiones en el valor obtenido de dicha conversión. Debido a los grandes niveles de corriente a los cuales opera el sistema, es necesario filtrar las señales de entrada a través de un circuito buffer, con el fin de mitigar los niveles de campo magnético originados por la alta corriente (aproximadamente 1200 A) y los armónicos provenientes del sistema. Luego, para el envío de la información hacia el PC se utilizó el controlador dual MAX232 el cual convierte las señales TTL provenientes del módulo de transmisión USART del microcontrolador en señales del protocolo RS232, (Halsall, 1998), interpretado por el puerto serial del PC y viceversa. Se seleccionó una velocidad de transmisión de 9600 baudios, sin control de flujo y un bit de paridad para la configuración de transmisión en el microcontrolador, ya que son los valores frecuentemente más utilizados.

En la figura 2, se presenta el algoritmo implementado en el código fuente del microcontrolador, mediante el software MikroBasic en las siguientes etapas:

- Etapas 1. Configuración de puertos e Inicialización de Variables.
- Etapas 2. Chequear recepción.
- Etapas 3. Lectura de variables.
- Etapas 4. Acondicionamiento de datos, según transducción.
- Etapas 5. Transmisión de Datos.

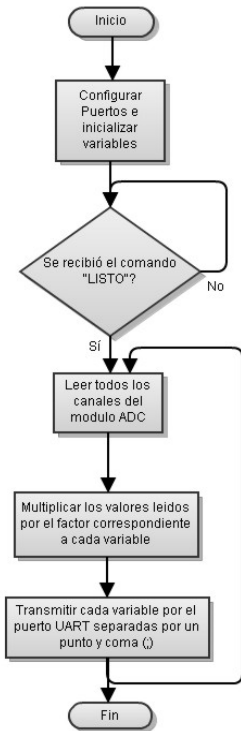


Fig. 2: Algoritmo implementado en el código fuente del microcontrolador, mediante el software MikroBasic.

Para el diseño electrónico de la tarjeta de adquisición de datos, se contempló la etapa de potencia y la etapa de control lógico. En la etapa de potencia, se realizó en primer lugar una transformación de voltaje de 120 VAC a 24 VAC, luego se realizó la conversión AC-DC mediante la técnica de rectificación de media onda con su respectiva corrección para obtener un voltaje de rizado adecuado; esto con el fin de garantizar voltajes DC adecuados para la alimentación del prototipo. Finalmente, se acondiciona el nivel de voltaje DC a 5VDC, por medio de un regulador de voltaje positivo a 5V y se implementó un filtro capacitivo para mitigar el ruido de la señal de potencia que alimenta la etapa de control. Con esto se garantiza, el suministro del voltaje necesario para la correcta operación de los circuitos integrados en la tarjeta de adquisición de datos.

Por otro lado, la etapa de control esta compuesta por el filtrado de datos a través del circuito buffer, la lectura de datos por el sistema ADC, procesamiento de datos por el microcontrolador y por el convertidor dual para la transmisión de la información al puerto RS232. En la figura 3, se visualiza el diseño electrónico de la tarjeta de adquisición de datos, en sus etapa de potencia y de control.

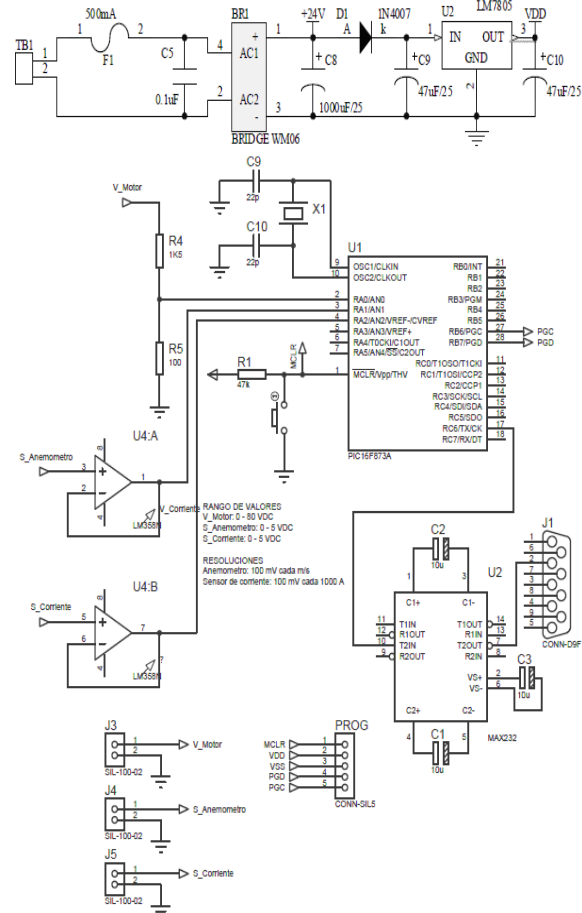


Fig. 3: Diseño electrónico de la tarjeta de adquisición de datos, mediante software PROTEUS.

4. DISEÑO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el diseño de software, se selecciona el programa Visual Basic v 6.0, (Aitken, 1999), como compilador base para el desarrollo de la aplicación que monitorea y registra las variables. En la figura 4, se presenta el algoritmo implementado para la visualización gráfica y almacenamiento del comportamiento histórico de los datos. El diseño de la aplicación de software se implementó en las siguientes etapas:

1. Lectura de puertos de comunicación.
2. Adquisición de datos.
3. Transmisión de datos.
4. Directorio para almacenamiento de datos.
5. Activación de puertos de comunicación.
6. Interpretación de Datos.
7. Generación de gráficos.

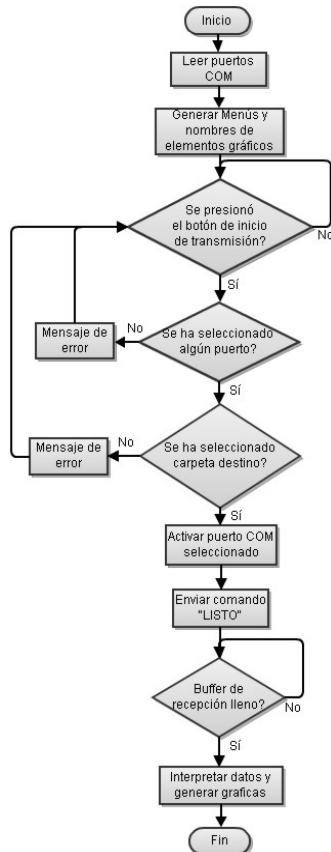


Fig. 4: Algoritmo implementado en Visual Basic de la aplicación que se ejecuta a través del ordenador.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el desarrollo del sistema de adquisición de datos, conformado por el dispositivo electrónico o hardware, evidenciado en la tarjeta de adquisición de datos y el software de visualización y almacenamiento, se consideraron las premisas de diseño establecidas en las secciones 3 y 4. Su implementación se presenta en las figuras 5 y 6, respectivamente.

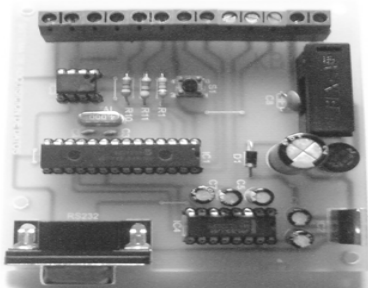


Fig. 5: Tarjeta de adquisición de datos implementada con todos sus componentes.

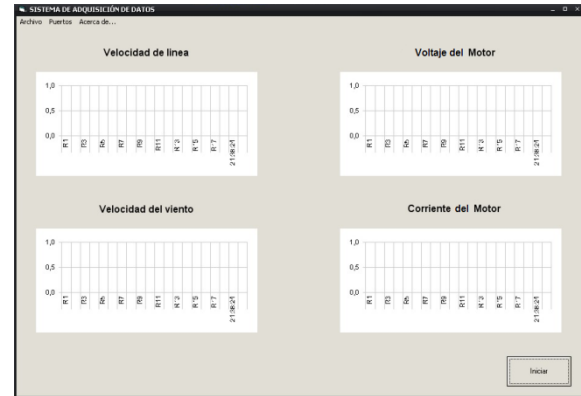


Fig. 6: Interfaz gráfica de la aplicación desarrollada mediante Visual Basic.

Para la operación de la aplicación desarrollada es necesario seguir el procedimiento descrito a continuación.

- Inmediatamente después de abrir la aplicación y seleccionar el botón “Iniciar”, se muestra una advertencia que hace referencia al hecho de que la transmisión de datos no puede ser detenida, salvo cuando la aplicación es cerrada, como se indica en la figura 7.

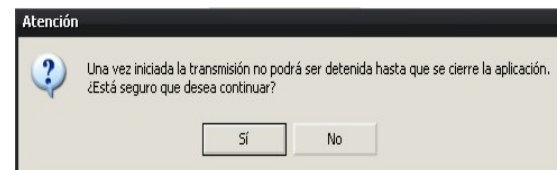


Fig. 7: Confirmación de inicio de adquisición de datos.

- Adicionalmente, antes de iniciar la transmisión, se debe seleccionar previamente el puerto por el cual se conectará la tarjeta de adquisición de datos y la ruta en la cual se guarda el archivo con extensión *csv*, (*comma separated values*); de lo contrario se muestra un error. En las figuras 8, 9 y 10, se puede ver el modo correcto de cómo elegir la ruta y el puerto de comunicación.

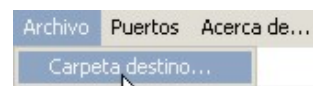


Fig. 8: Menú selección "Carpeta destino...".



Fig. 9: Menú selección de puerto.

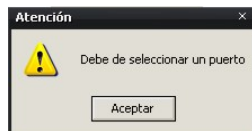


Fig. 10: Aviso de error de puerto no seleccionado.

- Una vez iniciada la transmisión de datos se muestra un mensaje indicando el puerto de comunicación seleccionado, como se indica en la figura 11.

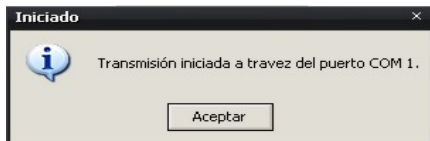


Fig. 11: Aviso de inicio de transmisión.

- Finalmente, se visualiza la transmisión de datos desde la tarjeta de adquisición implementada al software diseñado, como se presenta en la figura 12, por medio de gráficas de las variables registradas: velocidad de línea, velocidad del viento, voltaje del motor y corriente del motor.

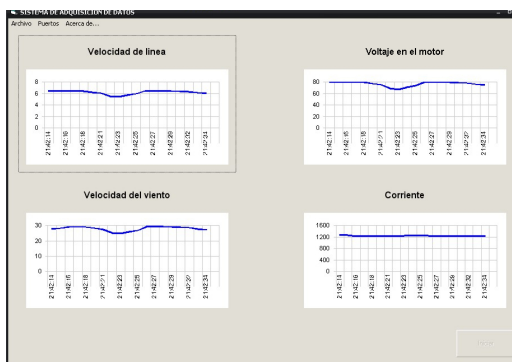


Fig. 12: Aplicación en funcionamiento del sistema de adquisición, interconectando el hardware y el software.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó el desarrollo de un nuevo sistema de adquisición de datos en tiempo real para la visualización y almacenamiento de variables de la línea L del Cable Aéreo del Metro de Medellín (MetroCable). Las variables monitoreadas y registradas son: velocidad de línea, velocidad del viento, voltaje del motor y corriente del motor. Con este trabajo, es posible que el MetroCable cuente con un registro histórico del comportamiento de las variables monitoreadas; así mismo, es posible mejorar a futuro los planes de mantenimiento con base a los datos estadísticos

obtenidos con la implementación del sistema. Es de resaltar que con el desarrollo realizado se innovó en este tipo de sistemas de adquisición de bajo costo en relación con los productos ofrecidos en el mercado.

El diseño del sistema de adquisición de datos proporciona un valor agregado a los sistemas de cables aéreos, o equivalentes, ya que puede ser fácilmente readaptado y repotencializado para ser instalado a cualquier cable aéreo, o equivalente; permitiendo así una optimización del recurso suministrado.

Es necesario que el operador del sistema tenga muy buen conocimiento del funcionamiento del dispositivo, ya que en algún momento se puede sobrepasar la capacidad de almacenamiento de las señales, si no se tienen las medidas de revisión y control necesarias, por eso es imperativo que se capacite adecuadamente al operario en la operación del mismo.

El dispositivo tiene la opción de ser reprogramado por el operario, quien es el responsable de vigilar y controlar su funcionamiento, y los planes de acción y mantenimiento con el fin de generar planes de mantenimiento preventivo y predictivo y/o mejoras en los equipos y/o herramientas del sistema con base en los resultados obtenidos.

7. RECONOCIMIENTO

A los ingenieros Carlos Paternina y Ricardo Cano de la empresa Metro de Medellín Ltda. por su constante apoyo en la ejecución del mismo.

REFERENCIAS

- Vicente, J. A. y Olguín, J. O. (2009). *Adquisición de Datos de un Perfil de Temperatura y Sistema de Monitoreo Mediante Aplicación Web*. Revista Espectro Tecnológico, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Vol. Agosto – Diciembre de 2009.
- Mera, D., Valdivieso, F. y Vásquez, L. (2011). *Sistema de Adquisición de Datos de Humedad y Temperatura utilizando Tecnología 1 WIRE y Labview*. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Aitken, P. G. (1999). *Visual Basic 6: Manual Completo De Programación*, 760p. PARANINFO, España.
- González, J. (1992). *Introducción a los Microcontroladores*, 292p. McGraw – Hill, 1ra Ed., España.
- Halsall, F. (1998). *Comunicación de Datos, Redes de Computadores y Sistemas Abiertos*, 955p. ADISON WESLEY, 4ta. Ed., México.
- Oscar R. López Bonilla. *Sistemas de Adquisición de Datos*. Disponible en: <http://www.loboinstruments.com/>. (consultado el 15 de febrero de 2012).
- Todo robot. *Motores de Corriente Continua*. Disponible en <http://www.todorobot.com.ar/documentos/dc-motor.pdf> (consultado el 1 de marzo de 2012).
- Valdés, F. y Pallas, R. (2007). *Microcontroladores: aplicaciones y fundamentos con PIC*, 335p. MARCOMBO, S.A., Barcelona, España.